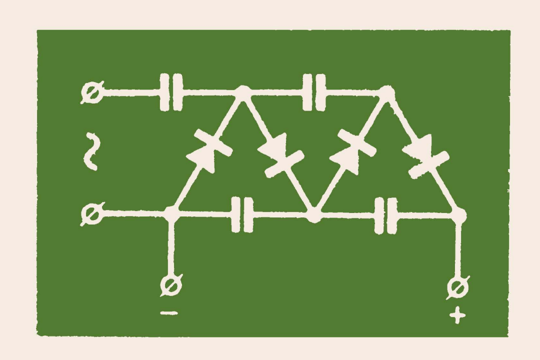


А. Г. ДОЛЬНИК

ВЫПРЯМИТЕЛИ С УМНОЖЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ





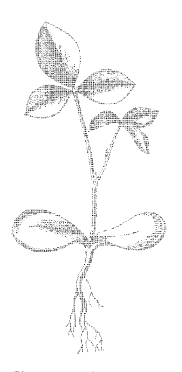
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 146

А. Г. ДОЛЬНИК

ВЫПРЯМИТЕЛИ С УМНОЖЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1952 ЛЕНИНГРАД

ЭС-3-3
52173

В брошюре рассматриваются практические схемы кенотронных и селеновых выпрямителей с умножением напряжения и приводятся их нагрузочные характеристики. Даются указания по выбору кенотронов, селеновых столбиков и конденсаторов для выпрямителей различного назначения. Описывается конструкция универсального бестрансформаторного селенового выпрямителя, работающего от сети с напряжением 110, 127 и 220 в и дающего 450 в выпрямленного напряжения при токе 0,15 а.

Брошюра предназначена для радиолюбителей средней квалификации.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *К. А. Шульгин* Техн. редактор *А. М. Фридкин*

Сдано в набор 26/II 1952 г. Подписано к печати 5/VI 1952 г.
Бумага 84×108 1/32 = 1/2 бумажн. лист — 1,64 п. л. Уч.-изд. л. 2
Т-03985 Тираж 25 000 экз. Заказ № 3091
Цена 80 коп. (номинал по прейскуранту 1952 г.)

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Среди различных схем выпрямляющих устройств особую группу составляют схемы, в которых посредством соответствующего включения выпрямительных элементов и конденсаторов осуществляется не только выпрямление, но одновременно и умножение выпрямленного напряжения.

Преимущество таких схем заключается в возможности построения высоковольтных бестрансформаторных выпрямителей и выпрямителей с трансформаторами, только для питания цепей накала кенотронов. Отсутствие в силовом трансформаторе повышающей обмотки значительно облегчает его изготовление и повышает эксплуатационные качества выпрямителя. К недостаткам этих схем относятся сравнительно сильная зависимость выпрямленного напряжения от тока в нагрузке и относительная трудность получения больших мощностей.

Схемы выпрямителей с умножением напряжения получили наиболее широкое распространение в рентгенотехнических установках. В радиотехнической практике они используются в основном для питания маломощной аппаратуры, потребляющей ток не более 50—70 *ма* при напряжении около 200 *в*. Однако и здесь область их применения можно значительно расширить, построив, например, по схеме с утроением или учетверением напряжения достаточно мощные бестрансформаторные выпрямители. Подобные выпрямители при напряжении сети переменного тока 110, 127 или 220 *в* позволяют получить постоянное напряжение 300—400 *в* при токе до 100—150 *ма*, что обеспечивает питание анодных цепей приемников, усилителей низкой частоты средней мощности.

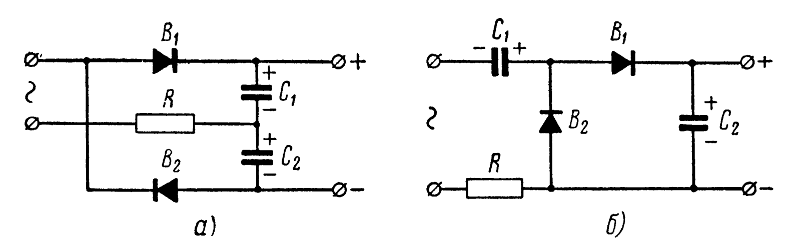
Особенностью работы выпрямителей с умножением напряжения является использование свойств конденсаторов накапливать и в течение некоторого времени сохранять электрическую энергию. При работе выпрямителя от обычной

сети 50-периодного переменного тока время, в течение которого конденсатор должен сохранять заряд, не превышает 0,02 сек. Чем больше емкость входящих в схему конденсаторов, тем большее количество электрической энергии они сохраняют и тем выше при одной и той же нагрузке получается выпрямленное напряжение. Поэтому в таких выпрямителях удобнее всего применять электролитические конденсаторы, которые, имея небольшие размеры, обладают значительной емкостью.

Ниже описывается ряд практических схем выпрямителей с умножением напряжения, причем для большинства из них приводятся нагрузочные характеристики, снятые при различных емкостях накопительных конденсаторов. Такие характеристики позволяют достаточно полно судить о возможных областях применения той или иной схемы, а также по заданным выпрямленному току, выпрямленному напряжению и напряжению питающей сети выбрать схему выпрямителя и определить основные данные его деталей.

СХЕМЫ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С УМНОЖЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ

Схемы с удвоением напряжения. Схемы выпрямителей с удвоением напряжения, получившие наиболее широкое распространение в радиолюбительской практике, приведены на фиг. 1.

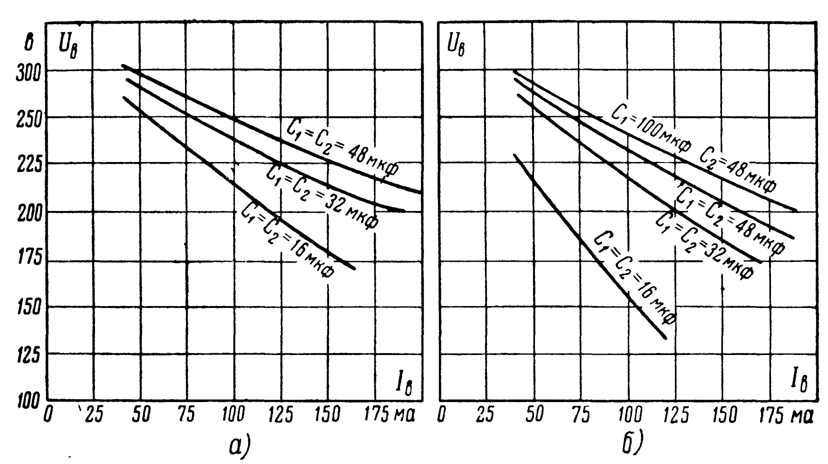


Фиг. 1. Принципиальные схемы выпрямителей с удвоением напряжения.

а—схема двухполупериодного выпрямителя; *б*—схема однополупериодного выпрямителя.

Для того чтобы можно было достаточно полно сравнить и оценить достоинства и недостатки обеих схем, на фиг. 2 приведены их нагрузочные характеристики. Характеристики были сняты при различных емкостях конденсаторов C_1 и C_2. В выпрямителях использовались селеновые столбики B_1 и

B_2, собранные каждый из 13 шайб диаметром 45 *мм*. Напряжение питающей сети поддерживалось равным 120 *в*. Для ограничения пускового тока, который из-за емкостного характера нагрузки может достигать значительных величин, последовательно в цепь питания включалось сопротивление R, равное 20 *ом*. Благодаря этому создавались более благоприятные условия для работы выпрямителей.



Фиг. 2. Нагрузочные характеристики выпрямителей с удвоением напряжения (сняты при напряжении питающей электросети, равном 120 *в*). *а*—характеристики двухполупериодного выпрямителя; *б*—характеристики однополупериодного выпрямителя,

Сравнивая нагрузочные характеристики обоих выпрямителей, снятые при одних и тех же значениях емкости конденсаторов C_1 и C_2, можно заметить, что для схемы двухполупериодного выпрямления они лежат заметно выше, чем для схемы однополупериодного. Следовательно, выпрямленное напряжение на нагрузке при одинаковом токе получается бо́льшим для первой схемы (фиг. 1,*а*), чем для второй (фиг. 1,*б*).

Приведенные характеристики позволяют также судить о реальных рабочих напряжениях, при которых работают конденсаторы схемы.

Благодаря тому, что частота пульсации при двухполупериодном выпрямлении получается в два раза большей, чем при однополупериодном, для первой схемы (фиг. 1,*а*) значительно облегчается дальнейшая фильтрация выпрямленного напряжения, и кроме того, коэффициент пульсации

(показывающий, какую часть выпрямленного напряжения на выходе выпрямителя составляет амплитуда переменной составляющей этого напряжения) для одинаковой нагрузки и одинаковых значений емкости конденсаторов C_1 и C_2 получается несколько меньшим. Так, например, при сопротивлении нагрузки 2 000 *ом* и емкости конденсаторов C_1 и C_2 по 48 *мкф* коэффициент пульсаций для первой схемы составлял 6,5%, а для второй — 7,6% (несмотря на то, что в первой схеме суммарная емкость на выходе выпрямителя в два раза меньше, чем во второй).

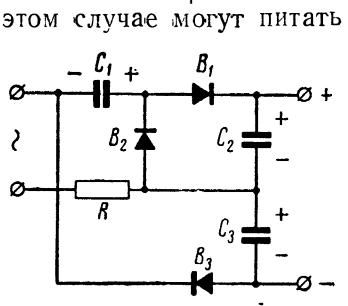
Следует также отметить, что рабочие напряжения на конденсаторах в первой схеме одинаковы и равны половине выпрямленного напряжения, т. е. не превышают 150 *в* (если только выпрямитель не работает без нагрузки), тогда как во второй схеме под таким напряжением работает только конденсатор C_1, а конденсатор C_2 находится под полным выпрямленным напряжением и, следовательно, должен быть рассчитан на рабочее напряжение не менее чем 300 *в*.

При работе выпрямителей с удвоением напряжения без нагрузки, т. е. вхолостую, выпрямленное напряжение примерно равно удвоенному амплитудному значению напряжения питающей сети, и следовательно, может превысить 350 *в* (если эффективное напряжение сети равно 127 *в*). Такое повышение напряжения может привести к пробою конденсаторов, селеновых шайб или изоляции между нитью накала и катодом в кенотронах. Поэтому, если по техническим условиям выпрямитель должен работать без нагрузки или на очень высокоомную нагрузку, то детали, применяемые в нем, должны быть рассчитаны на соответствующее рабочее напряжение. Последнее условие относится также и к схемам, приводимым в последующих разделах брошюры.

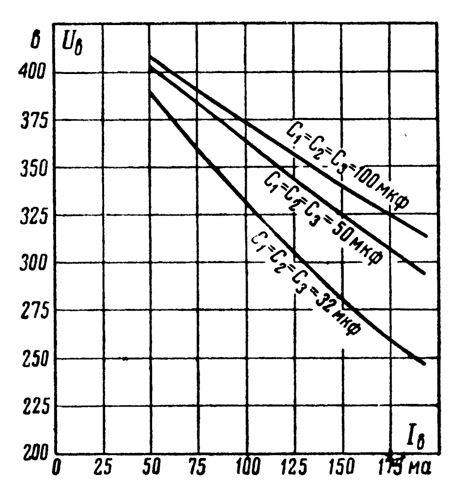
Некоторым преимуществом однополупериодной схемы является возможность весьма простого переключения ее на питание от сети с напряжением 220 *в*. Чтобы произвести такое переключение, нужно соединить последовательно выпрямительные элементы B_1 и B_2 и закоротить конденсатор C_1. В этом случае выпрямитель будет работать по схеме однополупериодного выпрямления без удвоения напряжения. Нагрузочные характеристики выпрямителя при этом почти не изменятся.

Область применения описанных выше схем выпрямителей—питание 4—5-ламповых приемников (имеющих выходную мощность не более 2—3 *вт*), маломощных усилителей низкой частоты и малоламповой измерительной аппаратуры.

Во всех этих случаях в качестве выпрямительного элемента удобнее всего использовать кенотрон 30Ц6С, нить накала которого соединяется последовательно с нитями накала других ламп аппарата. Выпрямитель с этим кенотроном и конденсаторами C_1 и C_2 емкостью по 20—40 *мкф* дает напряжение 200—220 *в* при токе около 70 *ма*. Применяя вместо кенотрона 30Ц6С селеновые столбики, собранные из шайб диаметром 35 или 45 *мм*, и конденсаторы большей емкости, можно несколько увеличить выпрямленное напряжение и получить ток вдвое (для шайб диаметром 35 *мм*) и втрое (для шайб диаметром 45 *мм*) больший. Выпрямители в этом случае могут питать более мощные приемники (до 4 *вт* выходной мощности), усилители низкой частоты, маломощные телевизоры и т. п.



Фиг. 3. Принципиальная схема выпрямителя с утроением напряжения.



Фиг. 4. Нагрузочные характеристики выпрямителя с утроением напряжения (сняты при напряжении питающей электросети, равном 120 *в*).

Схема с утроением напряжения. Схема выпрямителя с утроением напряжения приведена на фиг. 3. Она представляет собой комбинацию двух схем однополупериодных выпрямителей: схемы с удвоением напряжения и схемы без умножения. К питающей сети обе схемы подключаются параллельно, а их выходы (выпрямленные напряжения) соединяются между собой последовательно. Таким образом, напряжение на выходе выпрямителя, равное сумме выпрямленных напряжений (удвоенному напряжению сети на конденсаторе C_2 и одинарному — на конденсаторе C_3), оказывается равным, примерно, утроенному напряжению сети.

Нагрузочные характеристики, выпрямителя, приведенные на фиг. 4, показывают, что при токе около 200 *ма* такой вы-

прямитель может отдавать напряжение свыше 300 *в*. Характеристики снимались при сопротивлении $R = 10$ *ом* с выпрямителя, в котором в качестве выпрямительных элементов B_1, B_2 и B_3 использовались одинаковые селеновые столбики, собранные каждый в 13 шайб диаметром 45 *мм*. Напряжение питающей сети поддерживалось равным 120 *в*, а емкости конденсаторов C_1, C_2 и C_3 менялись в пределах от 32 до 100 *мкф*.

Характер пульсации выпрямленного напряжения этой схемы при равных значениях емкости всех трех конденсаторов такой же, как и в схеме двухполупериодного выпрямления, а коэффициент пульсации при нагрузке выпрямителя сопротивлением 2 000 *ом* и емкости конденсаторов по 50 *мкф* — порядка 7%. Рабочие напряжения на конденсаторах C_1 и C_3 не превышают 150 *в*, а на конденсаторе C_2 — 300 *в*.

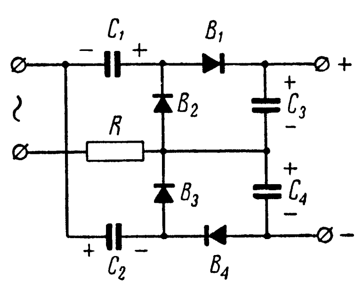
Следует иметь в виду, что в схеме с утроением напряжения при отсутствии нагрузки и напряжении питающей сети 120—127 *в* выпрямленное напряжение превышает 500 *в*.

Приведенные выше данные показывают, что выпрямитель с утроением напряжения может получить еще более широкое применение, чем с удвоением. Вопрос о выборе выпрямительных элементов для такого выпрямителя будет рассмотрен ниже.

Схемы с учетверением напряжения. Схема выпрямителя с учетверением напряжения может быть двух видов: симметричной и несимметричной.

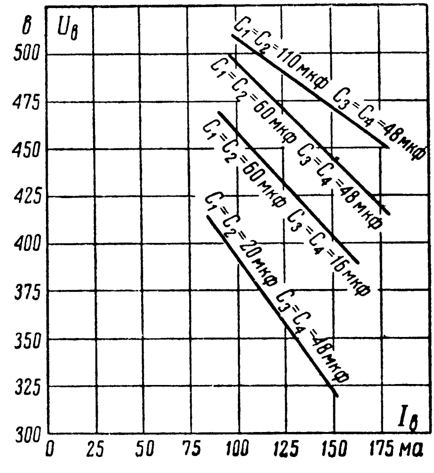
Симметричная схема, изображенная на фиг. 5, представляет собой комбинацию двух схем однополупериодных выпрямителей с удвоением, работающих в разные полупериоды напряжения питающей сети. Работа этой схемы происходит следующим образом. Во время полупериода одного знака заряжаются конденсаторы C_1 и C_4, причем напряжение на конденсаторе C_1 достигает, примерно, одинарного, а на конденсаторе C_4 — удвоенного эффективного значения напряжения питающей сети (конденсатор C_4 заряжается, используя уже имеющийся заряд на конденсаторе C_2). Во время полупериода противоположного знака таким же образом заряжаются конденсаторы C_2 и C_3. Выпрямленное напряжение снимается с соответствующих полюсов конденсаторов C_3 и C_4, соединенных между собою последовательно. Таким образом, оно удваивается вторично.

Напряжение, до которого заряжаются конденсаторы C_1 и C_2, оказывается тем бо́льшим, чем больше нагрузочное сопротивление или, иначе говоря, меньше отдаваемая выпрямителем мощность. Максимального значения зарядное напряжение достигает в случае отключения от выпрямителя нагрузки, становясь равным амплитудному значению напряжения сети (в 1,41 раза больше эффективного значения) на конденсаторах C_1 и C_2 и удвоенному амплитудному значению (в 2,82 раза больше эффективного значения) — на конденсаторах C_3 и C_4.



Фиг. 5. Симметричная схема выпрямителя с учетверением напряжения.

Для того чтобы можно было быстро определить требуемые емкости конденсаторов C_1, C_2, C_3 и C_4, на фиг. 6 приведены нагрузочные характеристики, снятые с выпрямителя при различных значениях этих емкостей (во всех случаях $C_1 = C_2$ и $C_3 = C_4$). Приведенные характеристики показывают, что уже при конденсаторах C_1 и C_2 емкостью по 60 *мкф* и C_3 и C_4 — по 16 *мкф* напряжение на выходе выпрямителя при токе 150 *ма* достигает 400 *в*.

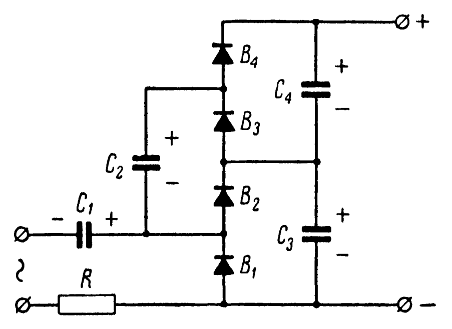


Фиг. 6. Нагрузочные характеристики выпрямителя с учетверением напряжения (сняты при напряжении питающей сети, равном 120 *в*).

Конденсаторы C_1 и C_2 должны быть рассчитаны на рабочее напряжение не меньшее чем 150 *в*, а C_3 и C_4 — не меньшее чем 250 *в*.

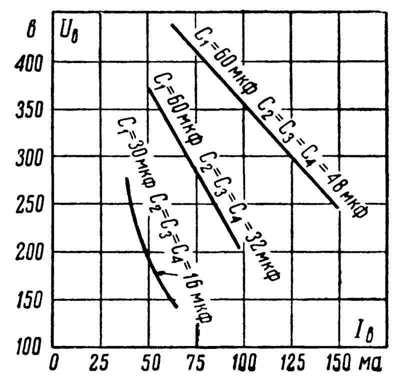
Коэффициент пульсации выпрямленного напряжения в случае нагрузки выпрямителя сопротивлением 3 000 *ом* оказывается равным, примерно, 6%, а форма напряжения на нагрузке та же, что и при двухполупериодном выпрямлении.

Следует иметь в виду, что в симметричных схемах выпрямителей с умножением напряжения шасси находится под сравнительно высоким потенциалом относительно земли и питающего источника.



Фиг. 7. Несимметричная схема выпрямителя с учетверением напряжения.

Несимметричная схема выпрямителя с учетверением напряжения показана на фиг. 7. Работает она по несколько иному принципу, чем предыдущая. Здесь в полупериод соответствующего знака через выпрямительный элемент B_1 и сопротивление R, примерно до напряжения сети, заряжается конденсатор C_1. В следующий полупериод через выпрямительный элемент B_2 и сопротивление R, используя заряд на конденсаторе C_1, примерно до двойного напряжения сети, заряжается конденсатор C_3. До такого же напряжения заряжается в последующий полупериод конденсатор C_2 через выпрямительный элемент B_3. В это же время вновь заряжается конденсатор C_1. Затем заряд конденсатора C_2 через выпрямительный элемент B_4 заряжает конденсатор C_4. Выпрямленное напряжение снимается с последовательно соединенных конденсаторов C_3 и C_4. Вся схема работает по принципу однополупериодного выпрямления.



Фиг. 8. Нагрузочные характеристики несимметричного учетверяющего выпрямителя (сняты при напряжении питающей сети, равном 120 *в*).

Снятые с выпрямителя нагрузочные характеристики (фиг. 8) имеют значительный наклон. Это показывает на невозможность использования таких схем для радиотехнических аппаратов повышенной мощности. Рабочее напряжение распределяется на конденсаторах весьма своеобразно, причем характер распределения зависит от величины

нагрузки. В табл. 1 приведены рабочие напряжения на конденсаторах при двух различных нагрузках и без нагрузки.

Таблица 1

Конденсаторы на схеме фиг. 7	Емкость, *мкф*	Рабочее напряжение при нагрузке 2 000 *ом, в*	Рабочее напряжение при нагрузке 7 500 *ом, в*	Напряжение без нагрузки, *в*
C_1	60	100	125	170
C_2	48	125	220	340
C_3	48	175	240	340
C_4	48	100	105	340

Примечание. Напряжение питающей сети 120 *в*.

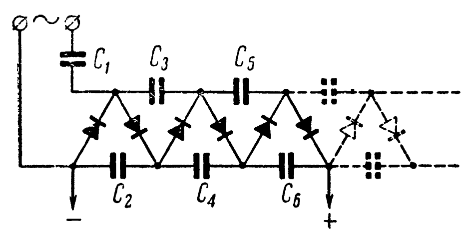
Такое неравномерное распределение напряжения сопровождается весьма неравномерной формой пульсации, и поэтому коэффициент пульсации на выходе выпрямителя составляет при сопротивлении нагрузки 5 000 *ом* около 10%, а при сопротивлении нагрузки 1 700 *ом* повышается до 23%. Вследствие этого несимметричную схему выпрямителя с учетверением напряжения можно использовать только при больших сопротивлениях нагрузки или, иначе говоря, при малых потребляемых токах.

Выпрямители, собранные по симметричной схеме с учетверением, в которых применяются селеновые выпрямительные элементы, могут широко использоваться для питания различных радиотехнических устройств, требующих достаточно высоких напряжений при токах 150—200 *ма*.

Схемы с многократным умножением напряжения. Принцип выпрямления с учетверением напряжения, изложенный выше, действителен для любой четной кратности умножения. Для каждого последующего увеличения выпрямленного напряжения на удвоенное напряжение сети схему выпрямителя нужно дополнить лишь двумя выпрямительными элементами и двумя конденсаторами, как показано на фиг. 9.

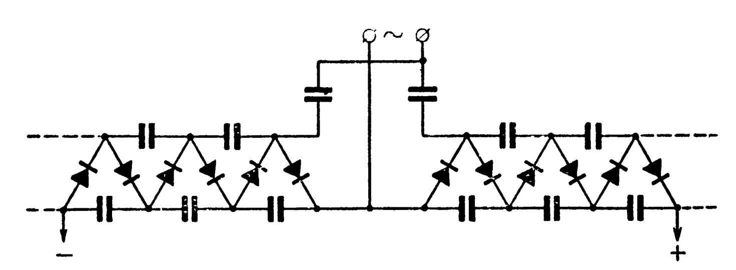
Схема, приведенная на фиг. 9, хорошо работает только при весьма малом потребляемом токе, но зато может давать очень высокое выпрямленное напряжение. Ее удобно применять в телевизорах для питания анода кинескопа и т. д. В качестве выпрямительных элементов здесь могут быть использованы селеновые шайбы самого малого диаметра, собранные в столбики с таким расчетом, чтобы допустимое

обратное напряжение было равным двойной амплитуде напряжения, даваемого источником переменного напряжения. На такое же рабочее напряжение должны быть рассчитаны и все конденсаторы схемы, кроме конденсатора C_1, находящегося под одинарным амплитудным напряжением источника. Так как схема рассчитывается на малые рабочие токи, емкости конденсаторов могут быть небольшими, в пределах от 0,25 до 0,5 *мкф*. Из-за большого сопротивления нагрузки коэффициент пульсации на выходе выпрямителя получается незначительным даже при таких малых значениях емкости конденсаторов. Полное напряжение, даваемое выпрямителем, подсчитывается для ненагруженного выпрямителя путем умножения амплитуды переменного напряжения на число пар элементов схемы. За одну пару элементов принимаются конденсатор и выпрямительный элемент.



Фиг. 9. Несимметричная схема выпрямителя с многократным умножением напряжения.

На фиг. 10 показана симметричная схема многократного умножения напряжения, имеющая по сравнению со схемой



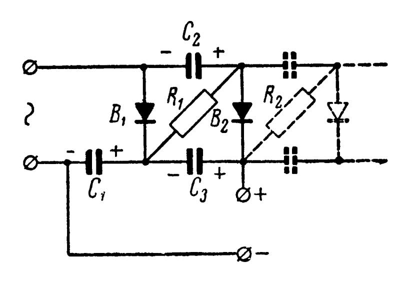
Фиг. 10. Симметричная схема выпрямителя с многократным умножением напряжения.

фиг. 9 те же преимущества, что и симметричная схема с учетверением напряжения по сравнению с несимметричной. Эту схему можно рекомендовать для выпрямителей, питающих выходные ступени любительских коротковолновых передатчиков и устройств, требующих высоких напряжений и сравнительно больших токов. При этом, конечно,

должны быть соответственно подобраны выпрямительные элементы и конденсаторы выпрямителя.

Для приведенных выше схем выпрямителей характер нагрузочных характеристик определяется емкостями применяемых конденсаторов. Чем больше эти емкости, тем меньший наклон имеет характеристика, и следовательно, большим получается напряжение на данной нагрузке.

Для случая работы выпрямителя без нагрузки существуют определенные минимальные значения емкостей конденсаторов, при занижении которых схемы с умножением напряжения перестают работать. В тех случаях, когда от выпрямителя необходимо получить ток в несколько десятков или сотен миллиампер, конденсаторы следует брать возможно большей емкости. Это способствует также и улучшению фильтрации выпрямленного напряжения. Кроме того, подбором емкостей конденсаторов можно эффективно устанавливать нужное по режиму питания анодное напряжение.



Фиг. 11. Схема умножения напряжения с сопротивлениями.

В промышленных и любительских телевизорах для питания анодов кинескопов нашла применение схема с умножением напряжения, изображенная на фиг. 11. Эта схема отличается от приведенных ранее наличием дополнительных сопротивлений и емкостей. Работает она следующим образом. Во время положительного полупериода питающего напряжения через выпрямительный элемент B_1 заряжается до амплитудного значения напряжения конденсатор C_1, а во время отрицательного — через сопротивление R_1 конденсатор C_2.

В последующий положительный полупериод напряжение на конденсаторе C_2 складывается с питающим напряжением, и этот конденсатор разряжается через выпрямительный элемент B_2 на последовательно соединенные конденсаторы C_1 и C_3, с концов которых полученное удвоенное выпрямленное напряжение и подводится к нагрузке. Наращивая в схеме звенья так, как показано пунктиром на фиг. 11, можно получить умножение напряжения любой кратности.

Преимущества такой схемы заключаются в облегчении условий работы выпрямительных элементов и емкостей, так

как обратное напряжение на каждом выпрямительном элементе не превышает двойного, а на каждом конденсаторе — одинарного амплитудного напряжения, подводимого к выпрямителю. Сопротивления R_1, R_2 и т. д. позволяют в случае использования селеновых столбиков иметь значительный разброс их обратных сопротивлений.

Рассмотренная схема пригодна только для работы выпрямителя при большом сопротивлении нагрузки. Конденсаторы могут иметь емкость порядка 500 ÷ 1 000 *мкмкф*, а сопротивления около 2 ÷ 4 *мгом*. В качестве выпрямительных элементов могут применяться соответствующие селеновые столбики или кенотроны, однако для питания нитей накала последних на силовом трансформаторе необходимо иметь отдельные хорошо изолированные обмотки.

ВЫПРЯМЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Во всех описанных выше схемах в качестве выпрямляющих элементов можно использовать кенотроны или селеновые столбики.

Кенотроны. Для бестрансформаторных схем с удвоением напряжения выпускается специальный кенотрон типа 30Ц6С, имеющий два анода, два катода и надежно изолированную от обоих катодов нить накала. Напряжение накала этого кенотрона 30 *в*, ток накала 0,3 *а* и максимальное напряжение, допустимое между катодом и нитью, 300 *в*.

Максимально допустимая разность потенциалов между катодом и нитью накала для кенотронов, применяемых в схемах с умножением напряжения, а также и для других приемно-усилительных ламп, цепи накала которых включаются последовательно, является одним из важнейших параметров. В схемах бестрансформаторного питания эта разность потенциалов может достигнуть значительного уровня и привести к пробою тонкого слоя керамики, изолирующего нить (подогреватель) от катода. В результате такого пробоя в кенотроне обычно перегорает нить накала и выходит из строя первый конденсатор фильтра (если он электролитический), так как он оказывается подключенным непосредственно к сети переменного тока. Не исключена при этом возможность и других повреждений.

Поэтому при конструировании приемника или другого устройства с бестрансформаторным питанием необходимо подсчитывать для каждой лампы возникающее между ее катодом и нитью накала максимальное (амплитудное) на-

пряжение. Это особенно важно при использовании выпрямителей, собранных по схемам с умножением напряжения.

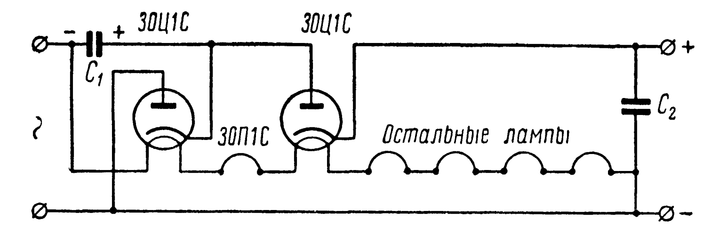
В табл. 2 приведены величины максимально допустимых напряжений между нитью накала и катодом некоторых кенотронов и приемно-усилительных ламп.

Таблица 2

Условное обозначение лампы	Максимально допустимое напряжение нить – катод, *в*
6Ц5С	450
30Ц6С, 30Ц1М, 6Х6С	300
30П1С, 6П3С	180
12П4С, 6П6С, 6Ж8, 6Г2	100

Из кенотронов с изолированным от нити накала катодом, кроме упомянутого выше кенотрона 30Ц6С, в выпрямителях с умножением напряжения могут применяться кенотроны типа 30Ц1С (с одним анодом и одним катодом) и типа 6Ц5С (с двумя анодами и одним катодом). В отличие от кенотрона 30Ц6С последние являются одиночными выпрямительными элементами, и поэтому в каждую схему удвоения напряжения их нужно ставить по два.

Применение двух кенотронов 30Ц1С вместо одного кенотрона 30Ц6С удобно тем, что при этом в некоторых случаях отпадает необходимость в гасящем сопротивлении,



Фиг. 12. Схема бестрансформаторного питания приемника с использованием двух кенотронов типа 30Ц1С.

включаемом обычно последовательно в цепь накала ламп. Так, например, цепь накала пяти- или шестилампового приемника с выходной лампой 30П1С и двумя кенотронами 30Ц1С при соединении всех нитей ламп последовательно требует для их питания 115 ÷ 120 *в* и может включаться прямо в сеть. Выпрямитель такого приемника собирается по однополупериодной схеме с удвоением напряжения (фиг. 12), причем нити всех ламп должны быть соединены в порядке, указанном на этой схеме, так как иначе один из кенотронов 30Ц1С будет иметь напряжение между нитью накала и катодом, превышающее допустимое.

Для схемы с удвоением напряжения иногда удобно использовать кенотроны типа 6Ц5С (6Х5С). От выпрямителя с двумя такими кенотронами, с соединенными между собой в каждом из них анодами, можно получить ток до 140 *ма* при достаточно высоком выпрямленном напряжении. Так как кенотроны типа 6Ц5С рассчитаны на ток накала 0,6 *а* (при 6,3 *в*), то с целью экономичности питания накал их лучше всего производить от понижающего трансформатора.

При наличии понижающего трансформатора с тремя изолированными обмотками, из которых две рассчитаны для питания кенотронов, а третья — для питания приемно-усилительных ламп, можно применять для схем удвоения любые кенотроны.

Все приведенные выше соображения действительны также и для схем с утроением и учетверением напряжения.

Селеновые столбики. Применение в выпрямителях с умножением напряжения (особенно при многократном умножении) кенотронов неудобно, так как наличие трех, четырех и более кенотронов делает конструкцию громоздкой и экономически невыгодной.

Использование вместо кенотронов селеновых столбиков. в таких случаях удешевляет стоимость выпрямителя, освобождает от необходимости смены перегоревших в нем кенотронов, срок службы которых во много раз короче, чем селеновых элементов, повышает к. п. д. выпрямителя.

Селеновые шайбы, из которых собираются столбики, выпускаются диаметром 7, 19, 25, 35, 45, 67, 86, 100 и 112 *мм*. Приводим их электрические параметры:

1. Допустимая постоянная составляющая тока через шайбу за весь период равна 50 $ма/см^2$ ее рабочей площади.

2. Максимально допустимое эффективное рабочее напряжение для шайб диаметром до 45 *мм* составляет 18 *в*, для шайб диаметром 67 и 86 *мм* — 16 *в* и для шайб диаметром 100 и 112 *мм* — 14 *в*.

3. Для указанных напряжений обратный ток через шайбу не должен превышать 2 ÷ 3 $ма/см^2$ (при измерении на постоянном токе).

4. При номинальной нагрузке падение напряжения в прямом направлении для постоянного тока не превышает 1,2 ÷ 1,3 *в*.

5. При испытании на пробой шайбы диаметром до 45 *мм* включительно выдерживают эффективное напряжение 30 *в*, шайбы диаметром 67 и 86 *мм* — 24 *в* и шайбы диаметром 100 и 112 *мм* — 22 *в*.

6. Допустимая рабочая температура лежит в пределах минус 50 — плюс 75° С.

Приведенные электрические параметры являются ориентировочными, так как нормальная работа и отдача выпрямителя с селеновыми выпрямительными элементами во многом зависят от электрической схемы, вида и характера нагрузки, длительности разового включения, правильного расположения групп столбиков (предусматривающего лучшее охлаждение) и расстояния между шайбами.

В табл. 3 приведены максимально допустимые значения выпрямленного тока для выпрямителя с селеновыми столбиками в зависимости от его электрической схемы, размера шайб и расстояния между ними.

Таблица 3

Диаметр шайбы, *мм*	Расстояние между шайбами, *мм*	Максимальный выпрямленный ток, *а*				
		Однополупериодная схема	Двухполупериодная схема	Схема с удвоением напряжения	Схема с утроением напряжения	Схема с учетверением напряжения
19	3	0,04	0,075	0,04	0,025	0,02
25	3	0,075	0,15	0,075	0,05	0,037
25	5	0,11	0,22	0,11	0,07	0,055
35	4	0,15	0,30	0,15	0,10	0,075
35	6	0,23	0,45	0,23	0,15	0,11
45	4	0,30	0,60	0,30	0,20	0,15
45	6	0,39	0,78	0,39	0,26	0,19
67	6	0,60	1,2	0,60	0,40	0,30
67	10	0,78	1,6	0,78	0,57	0,39
86	6	1,2	2,4	1,2	0,80	0,60
86	10	1,5	3,1	1,5	1,05	0,76
100	7	1,6	3,2	1,6	1,07	0,80
112	7	2,0	4,0	2,0	1,35	1,0
112	11	2,6	5,2	2,6	1,75	1,3

Примечания:

1. Приведенные данные соответствуют непрерывной работе в течение 6—8 час. с последующим перерывом такой же продолжительности.
2. Окружающая температура не должна превышать 35° С.
3. Количество шайб в одной группе (столбике) не должно превышать 35 шт. при диаметре шайбы 35 *мм* и 40 шт. — при диаметре 45 *мм* (и больше).

Приведенные в табл. 3 данные являются основными для выбора и расчета нужных групп выпрямительных элементов. Следует заметить, что, улучшив условия теплоотвода (увеличив, например, расстояние между шайбами), можно допустить значительно бо́льшую нагрузку селенового выпрямителя, но при этом его к. п. д. несколько снизится из-за

увеличения падения напряжения на выпрямительных элементах.

Качество селенового выпрямительного элемента определяется отношением прямого тока в нем к обратному току. Чем больше это отношение, тем лучше будет работать выпрямитель. Выпрямительный элемент можно считать пригодным к работе в том случае, если при полной нагрузке обратный ток его не превышает 5% прямого (величина этих токов определяется сопротивлением выпрямительного элемента в прямую и обратную стороны).

Селеновые выпрямительные элементы работают, как правило, группами, в которых шайбы одного диаметра соединяются последовательно, параллельно или комбинированно. Групповое соединение шайб предъявляет строгие требования к равенству их сопротивлений, так как иначе между отдельными шайбами получится неравномерное распределение напряжений или токов, что может вызвать для некоторых из шайб превышение допустимых значений и повреждение их, а неисправность хотя бы одной шайбы нарушит нормальную работу выпрямителя.

Вследствие того, что в селеновых выпрямительных элементах с уменьшением плотности тока возрастает их сопротивление в прямом и обратном направлениях и уменьшается соотношение между ними (что приводит к ухудшению выпрямительных свойств), при малых токах необходимо применять шайбы с соответственно малой площадью.

С повышением температуры сопротивление селеновых выпрямительных элементов падает (отрицательный коэффициент сопротивления), в связи с чем уменьшаются потери и повышается к. п. д. выпрямителя.

При постройке выпрямителей с селеновыми выпрямительными элементами следует еще учитывать их подверженность старению. С течением времени, особенно в процессе эксплуатации, сопротивление таких элементов в прямом направлении растет, растут также потери в них и увеличивается их нагрев. По истечении 1 000 — 2 000 час. работы сопротивление выпрямительного элемента увеличивается настолько, что падение напряжения на нем возрастает на 20—25%, а в отдельных случаях и на 50%. Последующая эксплуатация вызывает лишь незначительное увеличение сопротивления, и нормальный срок службы выпрямительных шайб достигает 10 000 — 20 000 час.

Повышение прямого сопротивления наблюдается также и в неработающих селеновых элементах, хранящихся при

комнатной температуре. При работе в условиях низких температур мощность, отдаваемая селеновым выпрямителем, падает. Так, при температуре минус 40° С мощность, отдаваемая выпрямителем, падает на 25% относительно мощности, отдаваемой при температуре плюс 20° С. Чем выше температура выпрямительной шайбы, тем меньшая допускается плотность тока. Если, например, при температуре окружающего воздуха плюс 35° С допустимую плотность тока принять за номинальную, то при повышении температуры, например до плюс 70° С, плотность тока не должна быть выше 20% от номинальной.

Кратковременная работа селеновых шайб при температурах до плюс 80—85° С не влечет за собой немедленной их гибели, но длительная работа при таких температурах может вызвать усиленное старение, а в связи с этим — дальнейшее повышение температуры шайб и выход их из строя.

Селеновые выпрямители хорошо выносят кратковременные перегрузки. Так, 15-кратная перегрузка в течение 3 сек., 8-кратная перегрузка в течение 10 сек. и 4-кратная перегрузка в течение 50 сек., повторяемые многократно с часовым перерывом для охлаждения, никаких изменений в шайбах не вызывают. Даже случайный пробой селеновой шайбы не всегда ведет к ее гибели, так как расплавленный селен, имеющий высокое удельное сопротивление, изолирует пробитое место. Однако, если при этом успеет расплавиться также и верхний электрод, изготовляемый из легкоплавкого сплава, то может произойти короткое замыкание шайбы, что приведет ее в негодность.

В случае выхода из строя селеновых столбиков, а также при применении столбиков, бывших в употреблении, когда необходима их переборка, нужно просмотреть исправность верхних электродов всех шайб и проверить их годность по отсутствию короткого замыкания и наличию выпрямляющего действия. Проверка производится в цепи постоянного тока, в которой определяется прямой и обратный ток через шайбу (более подробно это описывается ниже).

Минимальное количество шайб в столбиках каждого звена схемы умножения, рассчитанной на работу от электросети 127 *в*, составляет 13 шт., а при напряжении сети 220 *в* — 22 шт. Увеличение их числа на 15—25% допустимо и даже желательно в случае, когда применяются шайбы, бывшие в употреблении.

НАКАПЛИВАЮЩИЕ ЕМКОСТИ

Наряду с выпрямительными элементами, другими основными частями всех выпрямителей с умножением напряжения являются конденсаторы, накапливающие электрические заряды и позволяющие их суммировать. Поэтому для обеспечения нормальных условий работы применяемых конденсаторов важно знать особенности их работы в различных цепях схемы.

Как известно, электролитические конденсаторы, получившие в выпрямителях с умножением напряжения преимущественное применение, могут работать только в цепях постоянного или пульсирующего тока (если пульсации не превышают определенных, для каждого типа конденсаторов значений). Действующее рабочее напряжение на конденсаторе складывается из постоянного напряжения и амплитуды напряжения пульсаций.

В настоящее время выпускается несколько типов электролитических конденсаторов с различными рабочими напряжениями (от 8 до 500 *в*) и емкостями (от 2 до 5 000 *мкф*). Наибольшее распространение в массовой радиовещательной аппаратуре и радиолюбительской практике получили конденсаторы типов КЭ-1, КЭ-2 и КЭ-3.

По допуску рабочей емкости эти конденсаторы относятся к деталям V класса; отклонение их действительной емкости от указанного на этикетке может колебаться в пределах от +50% до —20%. По допуску рабочих температур они делятся на две группы: морозостойкие (группа М) с интервалом рабочих температур от —40 до +60° С и особо морозостойкие (группа ОМ) с интервалом рабочих температур от —60 до +60°. Последняя группа широкого распространения не получила.

Емкость электролитических конденсаторов сильно зависит от температуры. Так, например, при понижении температуры до —40° С емкость конденсаторов уменьшается примерно на 50%, а при повышении температуры до +60° С — возрастает примерно на 30% по сравнению с емкостью при температуре 15—20° С.

Номинальный ток утечки у электролитических конденсаторов оказывается тем бо́льшим, чем больше их емкости и выше рабочее напряжение. У конденсаторов емкостью 10—30 *мкф* при напряжении 300—500 *в* ток утечки составляет обычно 1—2 *ма*, а у конденсаторов большей емкости (2 000 *мкф* и больше) он достигает 10 *ма* и даже больше. Особо морозостойкие конденсаторы (группа ОМ) имеют

ток утечки на 25% меньший, чем аналогичные конденсаторы группы М. При повышении рабочей температуры конденсатора ток утечки также повышается.

При длительном хранении электролитических конденсаторов происходит высыхание электролита, в результате чего конденсаторы теряют емкость и становятся негодными.

Выбирая электролитические конденсаторы для выпрямителей с умножением напряжения, особое внимание следует обращать на параметр, определяющий их нормальную работу в цепях, содержащих переменную составляющую выпрямленного напряжения. В табл. 4 приведено (в процентном отношении к постоянному напряжению на конденсаторе) допустимое значение амплитуды переменной составляющей для электролитических конденсаторов различной емкости и различного номинального рабочего напряжения. Превышение указанных в табл. 4 величин приводит к нагреву конденсатора, увеличению тока утечки и, в конечном результате, к его гибели.

Таблица 4

Емкость, *мкф*	Допустимое амплитудное значение составляющей переменного напряжения от рабочего напряжения, %					
	до 50 *в*		от 150 до 450 *в*		500 *в*	
	Группа ОМ	Группа М	Группа ОМ	Группа М	Группа ОМ	Группа М
2—20	25	15	10	10	10	10
30—100	15	10	8	6	—	—
Выше 100	8	5	—	—	—	—

Как видно из табл. 4, амплитуда переменной составляющей напряжения на конденсаторе не должна превышать (в зависимости от его емкости и допустимого рабочего напряжения) 6—25% постоянного напряжения, причем повышенное значение пульсаций допускают конденсаторы группы ОМ. Необходимо отметить выгодность применения вместо одного конденсатора большой емкости двух или нескольких конденсаторов меньшей емкости, соединенных параллельно. Такая группа допускает больший процент пульсаций.

Металлический корпус конденсатора чаще всего является его электродом, присоединяемым к минусу электрической цепи. В этом случае для включения конденсаторов в описанные выше схемы выпрямителей корпус каждого из них

следует надежно изолировать, чтобы избежать контакта с шасси, другими конденсаторами или деталями схемы. Устанавливать конденсаторы можно в любом положении, но не следует крепить их при монтаже за контактные выводы.

В описании схем мы указывали рабочие напряжения на каждом конденсаторе, а также коэффициент пульсации, который служит исходной величиной для расчета элементов фильтра на выходе выпрямителя.

Самым тяжелым участком для электролитических конденсаторов по причине высокого уровня переменной составляющей является место включения конденсатора C_1 в схемах фиг. 1, *б*, 3, 7 и 9, а также конденсаторов C_1 и C_2 в схеме фиг. 5. При больших мощностях, снимаемых с выпрямителя, амплитуда переменной составляющей на этих конденсаторах может достигать 30—35% постоянного напряжения (при емкости конденсатора 50 *мкф*). Такое высокое процентное содержание переменной составляющей недопустимо, поэтому емкость конденсатора в таких случаях приходится брать в два раза больше указанной. Процентное значение пульсации при этом снижается больше чем в два раза, так как постоянная составляющая несколько возрастает. Лучше всего на этих участках схемы применять конденсаторы группы ОМ, соединенные по нескольку штук параллельно. Во время работы выпрямителя нужно следить, чтобы конденсаторы не нагревались больше чем на 10—15° С температуры окружающего воздуха. В случае какого-либо нарушения нормальной работы выпрямителя следует первым делом проверять исправность этих конденсаторов.

Все остальные электролитические конденсаторы, включаемые в другие участки схемы, работают в спокойном режиме, так как процент пульсации на них не выходит за допустимые пределы.

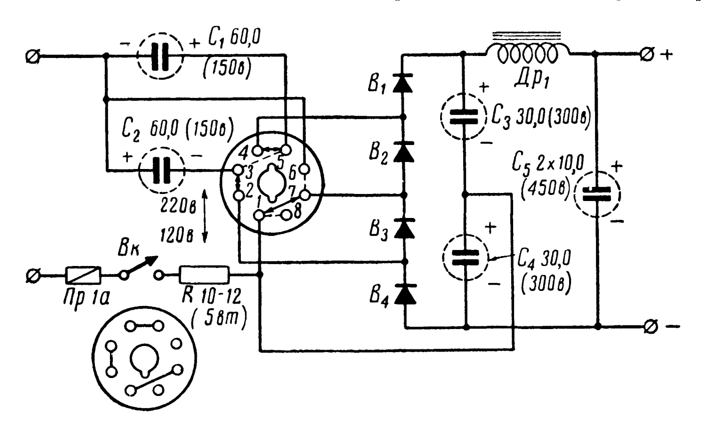
При малых мощностях выпрямителей, когда сопротивление нагрузки велико и емкости конденсаторов могут быть небольшими, пригодны к применению бумажные конденсаторы. В этом случае все приведенные выше опасения отпадают.

При последовательном соединении конденсаторов процент пульсации на каждом из них остается прежним, так как напряжения постоянной и переменной составляющих соответственно перераспределяется. Чтобы это распределение было равномерным, каждый конденсатор нужно шунтировать высокоомным сопротивлением (порядка 0,1—0,2 *мгом*).

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ БЕСТРАНСФОРМАТОРНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

В заключение приводим описание бестрансформаторного выпрямителя с учетверением напряжения, рассчитанного для питания анодных цепей радиолюбительского телевизора, потребляющего ток около 150 *ма* при напряжении свыше 400 *в*. Выпрямитель может включаться в сеть переменного тока с напряжением 110—127 или 220 *в*.

Из всех приведенных выше схем выпрямителей с умножением напряжения самой подходящей для выпрямителя такой мощности является симметричная схема с учетверением напряжения (фиг. 5). При составлении окончательной рабочей схемы предусмотрена возможность переключения его на питание от сети с напряжением 220 *в*. В этом случае выпрямитель работает по двухполупериодной схеме, но не с учетверением, а только с удвоением напряжения (фиг. 1, *а*).



Фиг. 13. Схема универсального бестрансформаторного выпрямителя.

Полная схема выпрямителя приведена на фиг. 13.

Переключение на питание от электросети 120 или 220 *в*, производится перестановкой специальной колодки в ламповой панельке. Чтобы легче разобраться в схеме переключения, соединения в ламповой панельке при питании от сети 120 *в* показаны на фиг. 13 сплошными стрелками, а при питании от сети 220 *в* — пунктирными линиями. При включении выпрямителя в сеть напряжением 220 *в* конденсаторы C_1 и C_2 отключаются. Отдельно от схемы выпрямителя на фиг. 13 изображена схема соединений в переключающей

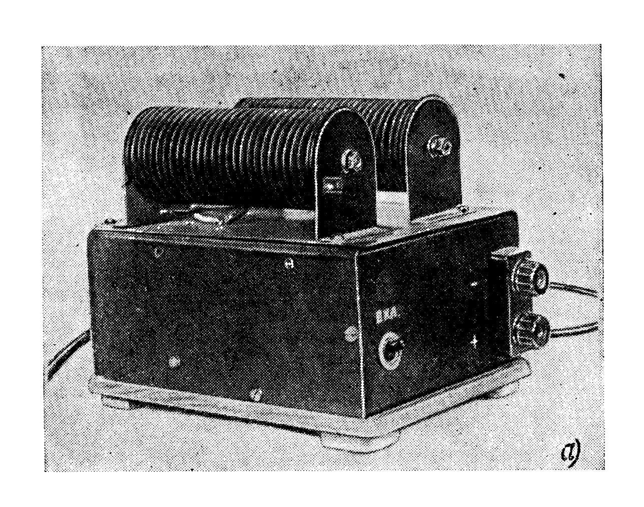
колодке (вид со стороны штырьков), которая изготовляется из октального цоколя от негодной радиолампы. В переключаемой панельке для направляющего ключа колодки (цоколя от радиолампы) против имеющегося в ней паза прорезается второй паз.

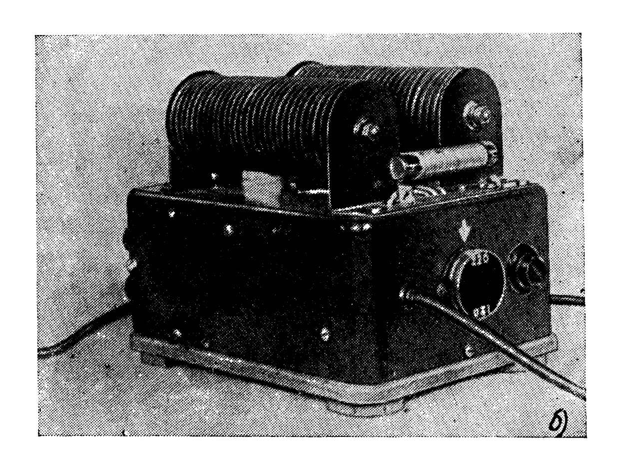
Сглаживание выпрямленного напряжения осуществляется однозвенным емкостно-дроссельным фильтром (C_5, $Др_1$) с коэффициентом фильтрации около 30.

Выпрямитель собран на металлическом шасси размером $185 \times 130 \times 70$ *мм*. Вид собранного выпрямителя показан на фиг. 14. На верхней панели шасси расположены два селеновых столбика, содержащие каждый по 26 шайб с выводами от середины. Все шайбы в столбиках собираются в одну сторону. Столбики устанавливаются на шасси рядом, так чтобы их крайние шайбы были разной полярности (в этом случае соединяющий их провод будет самым коротким). Количество шайб в столбиках выбрано минимальным. Если имеются запасные шайбы, число их в каждой половине столбика следует увеличить до 15—16 шт.

Сборка селеновых столбиков должна проводиться весьма тщательно и сопровождаться проверкой годности селеновых шайб с помощью омметра или пробника, составленного из батареи с напряжением 5—10 *в* и низкоомного вольтметра, к которым последовательно подключается испытуемая селеновая шайба. Показания прибора должны резко отличаться (в 15—20 раз) при изменении полярности подключения шайбы. При меньшем изменении показаний прибора испытуемую шайбу надо считать негодной, и ставить ее в столбик нельзя.

После такой проверки необходимо тщательно очистить от коррозии и краски селеновые, пружинные и разделительные шайбы, а также выводные контакты в местах их соприкосновения друг с другом. Чистку рекомендуется производить тонкой наждачной бумагой и тряпочкой, смоченной в ацетоне или амилацетате (грушевая эссенция). Собранные столбики должны быть крепко стянуты гайками стяжных болтов, которые необходимо надежно изолировать соответствующими изоляционными трубками и шайбами от токонесущих деталей. Эту работу необходимо проделать особо внимательно, ибо плохие контакты и слабая стяжка вызывают увеличение внутреннего сопротивления столбика и приводят к уменьшению выпрямленного тока, перегреву (селеновые столбики допускают нагрев до 70—75° С) и искрению (искрение создает помехи как для питающихся от





Фиг. 14. Собранный выпрямитель.
а—вид справа: *б*—вид слева.

этого выпрямителя радиотехнических устройств, так и для других радиотехнических устройств, расположенных поблизости).

Кроме двух выпрямительных столбиков, на верхней панели шасси расположено проволочное сопротивление $R = 10—12$ *ом* с мощностью рассеяния не менее 5 *вт*. Оно берется готовым или изготовляется из нихромового провода

диаметром 0,5 *мм* и длиной около 2 *м*. Провод для сопротивления можно намотать на готовом керамическом каркасике от сопротивления типа ВС—5,0. Сопротивление *R* ограничивает пусковой ток, достигающий без него значительной величины (что приводит к обгоранию контактов выключателя, к сильным помехам при включении электросети и т. п.).

Все остальные детали выпрямителя размещены внутри шасси, причем выключатель *Вк* и выходные зажимы выведены на одну бокобую панель, а предохранитель *Пр*, шнур и панелька переключения питания — на другую (противоположную). Конденсаторы и дроссель располагаются на свободных местах.

Все конденсаторы в выпрямителе — электролитические типа КЭ-1 (диаметром 26 *мм* и высотой 60 *мм*). Для изоляции конденсаторов из тонкого прессшпана склеиваются цилиндры, которые затем пропитываются парафином и надеваются на корпусы конденсаторов. Корпусы конденсаторов можно также оклеить 2—3 слоями лакоткани или обмотать изоляционной лентой. Все это необходимо для изоляции корпусов конденсатора друг от друга, а также от шасси и других деталей, к которым они прикасаются. Надежность изоляции конденсаторов весьма важна, так как нарушение ее может привести к выходу выпрямителя из строя.

Если невозможно достать электролитические конденсаторы нужной емкости, то можно вместо одного поставить два или три конденсатора меньшей емкости, соединенных параллельно. Важно лишь, чтобы их суммарная емкость и рабочее напряжение были не менее указанных на схеме. Для конденсаторов C_1 и C_2, работающих при значительной величине переменной составляющей, применение группы параллельно соединенных конденсаторов более желательно. Указанная на схеме емкость этих конденсаторов минимальная. Ее лучше увеличить до 100 *мкф*.

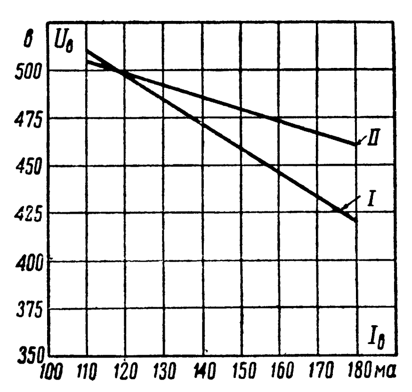
Дроссель $Др_1$ содержит 2 500 — 3 000 витков провода ПЭ 0,3 — 0,35. Сопротивление его обмотки равно 70—100 *ом*, а индуктивность — порядка 4 *гн*. Сердечник дросселя сечением 6 $см^2$ состоит из готовых пластин типа Ш-20 и собран с зазором 0,5 *мм*.

Монтаж выпрямителя выполняется обычным порядком. Детали прикрепляются к шасси и соединяются в соответствии со схемой хорошо изолированным проводом не тоньше 1 *мм*. Электролитические конденсаторы располагаются

возможно дальше от нагревающихся деталей (селеновых столбиков и сопротивления R). При монтаже нужно внимательно следить за правильностью соединения полярности селеновых столбиков и электролитических конденсаторов.

Правильно собранный выпрямитель ни в каких регулировках не нуждается и работает устойчиво и надежно. Перед включением выпрямителя необходимо убедиться в том, что к его выходным зажимам приключена соответствующая нагрузка. Отсутствие ее может привести к пробою конденсаторов, так как без нагрузки напряжение на выходе выпрямителя достигает 700 *в*.

Прямое заземление какого-либо полюса в выпрямителе или в питаемых от него приборах не допускается; землю можно присоединять только через конденсатор емкостью 0,1—0,25 *мкф*.



Фиг. 15. Нагрузочные характеристики универсального бестрансформаторного выпрямителя.

I—для схемы с учетверением напряжения; *II*—для схемы с удвоением напряжения.

Испытание выпрямителя показало его хорошие эксплуатационные качества. Как видно из нагрузочной характеристики (фиг. 15), снятой в условиях реальной работы выпрямителя (на выходе фильтра), в схеме с учетверением напряжения (от электросети 127 *в*) он дает с нагрузкой 3 000 *ом* выпрямленное напряжение 450 *в* при токе 0,15 *а*, а при переключении на схему с удвоением (от электросети 220 *в*) — напряжение 475 *в* при токе 0,158 *а*. При указанной нагрузке отдаваемая выпрямителем мощность составляет 70—75 *вт*, а потребляемая мощность от электросети — 90 ÷ 100 *вт*. Таким образом, к. п. д. всего устройства оказывается довольно высоким (около 75%). Следует заметить, что в схеме с удвоением напряжения селеновые столбики оказываются в более выгодном режиме работы, так как при этой схеме выбранные размеры селеновых шайб допускают ток 0,3 *а*, тогда как в схеме с учетверением максимальный выпрямленный ток не должен быть выше 0,15 *а* (табл. 3).

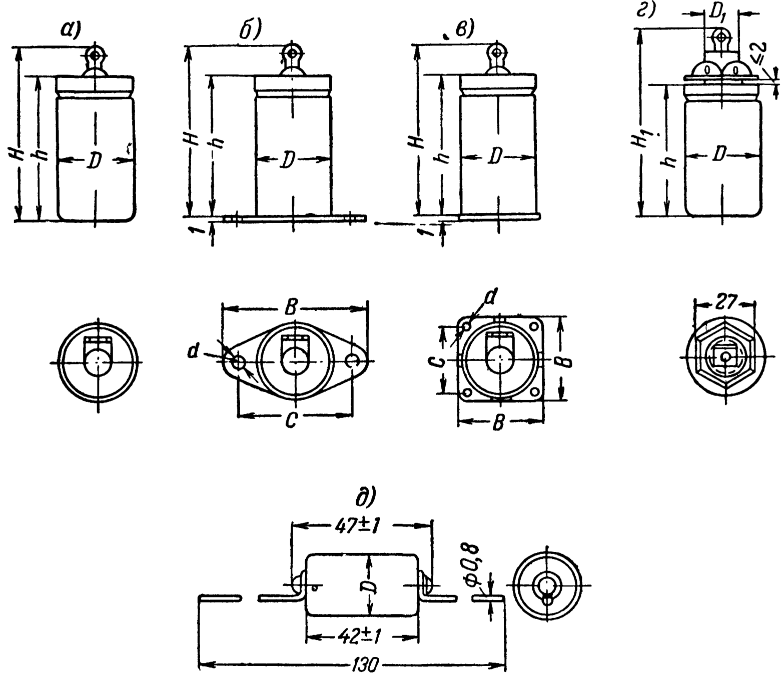
Наряду со снятием нагрузочной характеристики были определены значения коэффициента пульсаций при нагрузке выпрямителя сопротивлением 3 000 *ом*. Измерения показали, что коэффициент пульсации на входе фильтра составляет 6%, а на выходе — около 0,2%. Эти величины мало зависят от того, работает ли выпрямитель от сети напряжением 127 или 220 *в*. Такая величина пульсации допустима при питании выходных ступеней усилителей низкой частоты. Для питания других ступеней усилителей и приемников, а также видеоусилителей и генераторов разверток телевизоров к выпрямителю необходимо подключить дополнительные фильтры. Ввиду того что выпрямленное напряжение, даваемое выпрямителем, достаточно высоко, дополнительную фильтрацию можно осуществить включением в соответствующие цепи реостатно-емкостных фильтров. Можно, конечно, сделать и еще одну ячейку дроссельно-емкостного фильтра.

Опыт работы с бестрансформаторными выпрямителями, собранными по схемам с умножением напряжения, показывает рациональность их применения. Поэтому подобные выпрямители вполне можно рекомендовать для широкого использования их в радиолюбительской практике.

ПРИЛОЖЕНИЕ

КОНДЕНСАТОРЫ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ ТИПА КЭ

Электролитические конденсаторы постоянной емкости (типа КЭ) предназначаются для использования в аппаратуре в цепях с постоянным или пульсирующим напряжением, например, таких, как фильтровые и развязывающие цепи.



Размеры конденсаторов типа КЭ см. табл. 1, 2 и 3).

Конденсаторы могут работать при температуре окружающего воздуха от —40° С до +60° С (группа М) или —60° С до +60° С (группа ОМ) при относительной влажности до 80% и при кратковременном периодическом пребывании в условиях относительной влажности воздуха до 98%.

В радиолюбительской практике вполне можно ограничиться применением только группы М.

По конструкции электролитические конденсаторы типа КЭ подразделяются на три вида: КЭ-1 (фиг. *а*, *б*, *в*), КЭ-2 (фиг. *г*) и КЭ-3 (фиг. *д*).

Конденсаторы вида КЭ-1, в свою очередь, подразделяются по способу крепления на два варианта: КЭ-1,а (фиг. *а*) и КЭ-1,б (фиг. *б* и *в*).

Таблица 1

Основные данные конденсаторов типов КЭ-1 и КЭ-2

Номинальная емкость, *мкф*	Группа	Номинальное рабочее напряжение, *в*									
		8	12	20	30	50	150	300	400	450	500
		№ корпусов (см. табл. 2)									
5	ОМ	—	—	—	—	—	—	4	4	5	—
	М	—	—	—	—	—	—	3	3	4	4
10	ОМ	—	1	1	2	3	4	4	6	6	—
	М	—	—	—	—	2	3	4	4	4	5
20	ОМ	—	1	2	3	3	4	5	7	7	—
	М	—	—	1	1	2	3	4	4	5	6
30	ОМ	—	2	3	3	4	5	6	—	—	—
	М	—	1	1	2	3	4	4	—	—	—
50	ОМ	2	3	3	4	5	—	—	—	—	—
	М	—	2	2	3	4	—	—	—	—	—
100	ОМ	3	4	4	5	7	—	—	—	—	—
	М	—	3	3	4	5	—	—	—	—	—
200	ОМ	4	5	5	7	—	—	—	—	—	—
	М	—	4	4	6	—	—	—	—	—	—
500	ОМ	6	6	7	8	—	—	—	—	—	—
	М	—	5	6	7	—	—	—	—	—	—
1 000	ОМ	7	8	9	—	—	—	—	—	—	—
	М	—	7	8	—	—	—	—	—	—	—
2 000	ОМ	9	9	—	—	—	—	—	—	—	—
	М	—	8	9	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 2

Размеры корпусов конденсаторов КЭ-1 и КЭ-2

№ корпусов	Корпус, *мм*					Фланец, *мм*			
	D предельное отклонение ±0,5 *мм*	*h* предельное отклонение ±1 *мм*	*H*	H_1	D_1	*c* предельное отклонение ±0,2 *мм*	*B*	*d*	Форма фланца
1	16	28	36	—	—	22	29	3,2	Овальная
2	19	28	36	—	—	25	32	3,2	»
3	21	35	43	62	1M14	27	34	3,2	»
4	26	60	68	87	1M14	32	39	3,2	»
5	34	65	73	93	1M16	29	35	3,2	Квадратная
6	34	90	98	118	1M16	29	35	3,2	»
7	34	114	122	142	1M16	29	35	4,3	»
8	50	114	122	—	—	42	50	4,3	»
9	65	114	122	—	—	55	65	4,3	»

Таблица 3

Основные данные конденсаторов типа КЭ-3

Номинальная емкость, *мкф*	Группа	Номинальное рабочее напряжение, *в*								
		8	12	20	30	50	150	300	400	450
		№ корпусов								
2	ОМ	—	—	—	—	—	—	1	2	2
4	ОМ	—	—	—	—	—	1	2	3	—
	М	—	—	—	—	—	—	1	2	2
8	ОМ	—	—	—	—	1	2	3	—	—
	М	—	—	—	—	—	1	2	3	3
20	ОМ	—	1	1	2	2	—	—	—	—
	М	—	—	—	—	1	2	3	—	—
50	ОМ	1	2	2	3	—	—	—	—	—
	М	—	—	1	2	3	—	—	—	—
100	ОМ	3	—	—	—	—	—	—	—	—
	М	—	2	2	—	—	—	—	—	—

Корпусы конденсаторов КЭ-3 выпускаются трех размеров: корпус № 1 диаметром 17,5 *мм*, № 2 — 20,5 *мм* и № 3 — 25,5 *мм*.

Допускаемые отклонения емкости конденсаторов от номинальной не превышают +50% и —20%.

Конденсаторы нормально работают при наложении на действующее напряжение постоянного тока величины составляющей напряжения переменного тока с частотой до 100 *гц* не свыше значений, указанных в табл. 4, уменьшенных вдвое.

Ток утечки конденсаторов в миллиамперах не превышает величины, вычисленной по формуле

$$I = CU \cdot 10^{-4} + m,$$

где C — номинальная емкость, *мкф*;

U — рабочее напряжение, *в*;

m — коэффициент, равный 0,2 для емкостей до 5 *мкф*; 0,1 для емкостей от 8 до 50 *мкф* и равный 0 для емкостей свыше 50 *мкф*.

Изменение емкости конденсаторов группы М при нагревании их от +20° С до +60° С не превышает +30%. При охлаждении до —40° С изменение емкости не более —50%.

Обозначение конденсаторов составляется из слова «конденсатор», обозначения типа и вида, индекса крепления (для конденсаторов КЭ-1), величины номинального рабочего напряжения, индекса группы (М или ОМ) и величины номинальной емкости.

Пример. Конденсатор с фланцевым креплением на рабочее напряжение 150 *в* для интервала рабочих температур от —40° С до +60° С емкостью 10 *мкф* обозначается:

Конденсатор КЭ-1б — $\frac{150}{10}$ — М.

Таблица 4

Электрические характеристики конденсаторов типа КЭ

Группа конденсаторов			ОМ									М									
Предельные рабочие температуры			+60° С −40° С		±60° С							+60° С −40° С									
Номинальное рабочее напряжение постоянного тока в *в*			8	12	20	30	50	150	300	400	450	8	12	20	30	50	150	300	400	450	500
Допустимое максимальное значение составляющей напряжения переменного тока частоты 50 *гц* в процентах от номинального рабочего напряжения	При номинальных емкостях конденсаторов в *мкф*	2—20	25					10				15					10				
		30—100	15					8		—		10					6		—		
		свыше 100	8					—				5					—				
Наибольшее допустимое значение тангенса угла потерь при частоте 50 *гц* и при температуре +20° ±5° С			0,15					0,1				0,15					0,1				

Основные параметры маломощных кенотронов

Обозначение	Устройство	Накал		Максимальное выпрямленное напряжение, *в*	Максимальный выпрямленный ток, *ма*	Максимальное эффективное напряжение на аноде, *в*	Максимальная амплитуда обратного напряжения, *в*	Максимальный допустимый импульс анодного тока, *ма*	Максимальное допустимое напряжение катод—нить, *в*	Среднее эквивалентное внутреннее сопротивление, *ом*	Примечание
		Напряжение, *в*	Ток, *а*								
1Ц1С	Одноанодный прямого накала	0,7	0,18	3 300	1,0	—	10 500	10	—	6 000	
2Ц2С	То же	2,5	1,75	4 200	7,5	4 500	12 500	100	—	4 500	
4Ц6С (ВО-188)	Двуханодный прямого накала	4,0	2,1	500	150	500×2	1 400	560	—	180	При $C_в = 4$ *мкф*
5Ц3С	То же	5,0	3,0	450	225	450×2	1 300	700	—	230	При $C_в = 4$ *мкф*
5Ц4С	Двуханодный подогревный	5,0	2,0	420	125	350×2	1 000	375	—	180	При $C_в = 8$ *мкф*
6Ц5С	То же	6,3	0,6	370	70	325×2	950	475	450	325	При $C_в = 4$ *мкф*
6Х6С	Двуханодный подогревный с разделенными катодами	6,3	0,3	100	8	150	420	48	300	500	При однополупериодном выпрямлении
30Ц6С	То же	30	0,3	225	90	250	500	250	300	300	При однополупериодном выпрямлении при $C_в = 16$ *мкф*
30Ц1С	Одноанодный подогревный	30	0,3	225	90	250	500	500	300	130	При $C_в = 25$ *мкф*

Цена 80 коп.